

*П. А. Ретивых, В. Н. Голошумова, Ю. М. Бродов*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

pasha310196@gmail.com

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЛГОРИТМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСА ЦИЛИНДРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

*В работе изложена актуальность разработки алгоритма математического обеспечения для контроля термонапряженного состояния корпуса цилиндров паровых турбин в реальном времени. Алгоритм математического обеспечения необходим для оптимизации режимов работы паровых турбин.*

*Ключевые слова: паротурбинная установка; переменные режимы, оптимизация; алгоритм расчета; математическое обеспечение; термонапряженное состояние; корпус цилиндра.*

*P. A. Retivikh, V. N. Goloshumova, Yu. M. Brodov*

Ural Federal University, Ekaterinburg

## DEVELOPMENT OF ALGORITHMS SOFTWARE FOR THE CONTROL OF THE THERMAL STRESSED STATE OF THE CASE OF CYLINDERS OF STEAM TURBINES IN REAL TIME

*The paper presents the topicality of development a software algorithm for monitoring the thermally stressed state of the cylinder housing of steam turbines in real time. The algorithm of mathematical software is necessary to optimize the operating regime of steam turbines.*

*Keywords: STP; variable duty; optimization; computation algorithm; mathematical software; thermal stress state; cylinder casing.*

Для современных паровых турбин как объектов управления регулирующими воздействиями являются изменение расхода пара через турбину, а также температуры и давление свежего пара и пара промежуточного перегрева, а ведущими показателями – разности температур в корпусных деталях и роторах, характеризующих их термонапряженное состояние и определяемых режимами их прогрева.

Принято, что наиболее достоверным способом нахождения «критических» элементов конструкции данной паровой турбины может быть моделирование температурного и термонапряженного состояния ротора высокого давления (РВД), корпуса цилиндра высокого давления (ЦВД); дополнительно для паровых турбин с промежуточным перегревом пара – ротора среднего давления (РСД), корпуса цилиндра среднего давления. Численные эксперименты пусковых режимов работы паровой турбины методом конечных элементов проводят в программном комплексе ANSYS, используя междисциплинарный последовательный анализ (тепловой, нестационарный, нелинейный → квазистационарный анализ напряженно деформированного состояния) [1–5].

При эксплуатации в процессе пуска-останова паровой турбины целесообразно поддерживать температурные напряжения в «критических» элементах на предельно допустимом уровне при этом остальные величины критериев надежности не должны выходить за допустимые значения.

С учетом этого необходимо решить следующие задачи:

- анализ возможных мест возникновения и методов вычисления недопустимых температурных напряжений в элементах конструкции паровой турбины;
- определение граничных условий теплообмена в проточной части паровой турбины для моделирования температурного поля;
- определение «критических» элементов конструкции паровой турбины ограничивающих ее маневренные характеристики по условию термпрочности;

- выбор объем и положение эксплуатационного температурного контроля «критических элементов»;
- разработка средств непрерывного контроля и автоматического ограничения недопустимого термонапряженного состояния «критических» элементов конструкции паровой турбины;
- разработка технологии автоматизированного пуска паровой турбины с учетом текущего термонапряженного состояния «критических» элементов ее конструкции.

Исходными размерами для построения геометрической модели для задачи термонапряженного состояния являются размеры из чертежей проточной части техдокументации. Для простоты процесса создания двухмерной геометрической модели последняя выполняется в комплексе Autodesk AutoCAD или любом другом доступном и удобном CAD-пакете, позволяющем экспортировать построения в символьный формат данных в виде файлов с расширением \*.sat. Этот тип файлов позволяет полноценно переносить параметры модели в ANSYS. В процессе построения геометрической модели определяется необходимая полнота моделирования по отношению с физической системой. В общем случае производится попытка определения баланса между использованием вычислительных ресурсов и необходимой точностью результатов при сохранении объективной правильности повторения геометрии ротора.

Коэффициенты теплоотдачи рассчитываются с использованием критериальных уравнений, приведенных в руководящих технических материалах Центрального котлотурбинного института (ЦКТИ) по моделированию [6]. Эти критериальные зависимости являются обобщающим результатом проведенных натурных, стендовых и теоретических исследований условий конвективной теплоотдачи в турбинах.

Для учета всех компонентов поля напряжений (нормальных и касательных) в анализе использовано эквивалентное напряжение по Мизесу (*von Mises stress*). ANSYS рассчитывает эквивалентное напряжение в каждом узле в автоматическом режиме.

Недостатком такого подхода является отсутствие данных о погрешности расчетов, связанных с действием центробежных сил и объемных сил тяжести [7] и в связи с этим планируется исследовать это влияние и учитывать при разработки математического обеспечения для контроля термонапряженного состояния корпуса цилиндров паровых турбин в реальном времени.

#### Список использованных источников

1. Кляйнрок И. Ю. Определение “критических” элементов конструкции паровой турбины, ограничивающих маневренность парогазового энергоблока / И. Ю. Кляйнрок, В. Н. Голошумова, Ю. М. Бродов // Тяжелое машиностроение. 2012. № 4. С. 15–17.
2. Кляйнрок И. Ю. Получение приближенных зависимостей для контроля за термонапряженным состоянием корпуса паровой турбины / И. Ю. Кляйнрок, В. Н. Голошумова, Ю. М. Бродов // Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 2. С. 53–56.
3. Кляйнрок И. Ю. Разработка современных средств оперативного контроля за термонапряженным состоянием корпуса паровой турбины / И. Ю. Кляйнрок, В. Н. Голошумова, Ю. М. Бродов // Надежность и безопасность энергетики. 2012. № 16. С. 59–62.
4. Голошумова В. Н. Управление пусковыми режимами теплофикационных паровых турбин в составе парогазовых установок / В. Н. Голошумова, Ю. М. Бродов, И. Ю. Кляйнрок, А. А. Смирнов // Теплоэнергетика. 2012. № 12. С. 56–64
5. Кляйнрок И. Ю. Организация контроля за тепловым состоянием элементов конструкции паровой турбины для ПГУ / И. Ю. Кляйнрок, В. Н. Голошумова, Ю. М. Бродов // Современная наука : теория и практика : Материалы II международной научно-практической конференции. Т. 1. Естественные и технические науки. Ставрополь : Сев-КавГТУ, 2011. 220 с.
6. ОСТ 108.020.132-85. Турбины паровые стационарные. Нормы расчета на прочность корпусов цилиндров и клапанов. М. : НПО ЦКТИ, 1986. 32 с.
7. Быков Э. Б. Особенности разработки алгоритмического обеспечения автоматов пуска высокоманевренных паровых турбин большой мощности / Э. Б. Быков, И. И. Туркин, Л. Б. Баскаков // Автоматизация производства. 2007. № 5. С. 40–42.